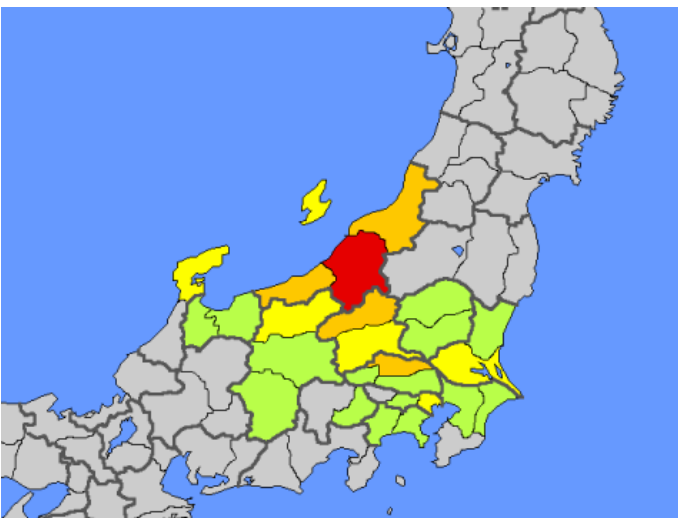
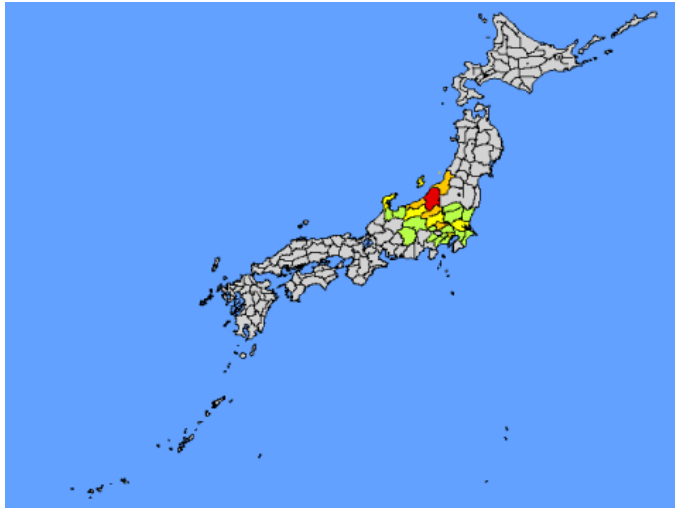


2004 年 新潟県中越地震 K-Net 観測波 解析速報

独立行政法人 建築研究所
構造研究グループ 主任研究員 楠 浩一



(www.ima.go.jp)

各地の震度



(<http://www.mainichi-msn.co.jp/shakai/jiken/niigatajishin/etc/ShingenMap.html>)

1 対象とする地震波と時刻歴

2004 年 10 月 23 日（土）17:56 頃発生した新潟の地震で、K-Net により観測された加速度データの中で、いずれかの方向の最大計測加速度が 250gal を超える記録計 10 波について、検討を行った。なお、K-Net で公開されている地震波データを、本節では物理量に変換して用い、それ以外では、加速度記録の基線ずれを除去するために全時間の平均値を引いたものを用いた。

K-net で公開されている各地震動の最大加速度一覧を表 1 に、主要動部分の時刻歴を図 1～図 10 に示す。小千谷および鹿瀬を除いて、最大加速度は NS 方向が卓越している。特に NIG021 十日町および NIG019 小千谷では、1000gal を超える地震動が観測されている。NIG021 の NS では、いわゆるスパイクにより記録が大きくなっていると見受けられる。それ以外の地震動では、最大加速度がいわゆるスパイクによって記録されたとも見受けられず、また NIG019 小千谷の記録では、比較的長い周期の波が載っている事が見受けられる。

表 1 各方向計測加速度最大値一覧 (cm/sec²)

		北緯	東経	EW	NS	UD
NIG021	十日町	37.12	138.75	849.554	1715.5	564.395
NIG019	小千谷	37.30	138.79	1307.91	1147.43	820.172
NIG028	長岡支所	37.42	138.89	706.447	871.042	435.509
NIG020	小出	37.23	138.97	407.401	521.431	312.136
NIG017	長岡	37.44	138.85	369.012	468.393	330.974
NIG023	津南	37.01	138.66	274.563	397.039	86.4849
GNM003	沼田	36.65	139.08	292.507	359.115	126.051
NIG022	塩沢	37.03	138.85	341.602	342.113	126.512
GNM002	水上	36.78	138.97	279.321	340.904	194.497
NIG012	鹿瀬	37.68	138.48	291.116	236.716	62.9275

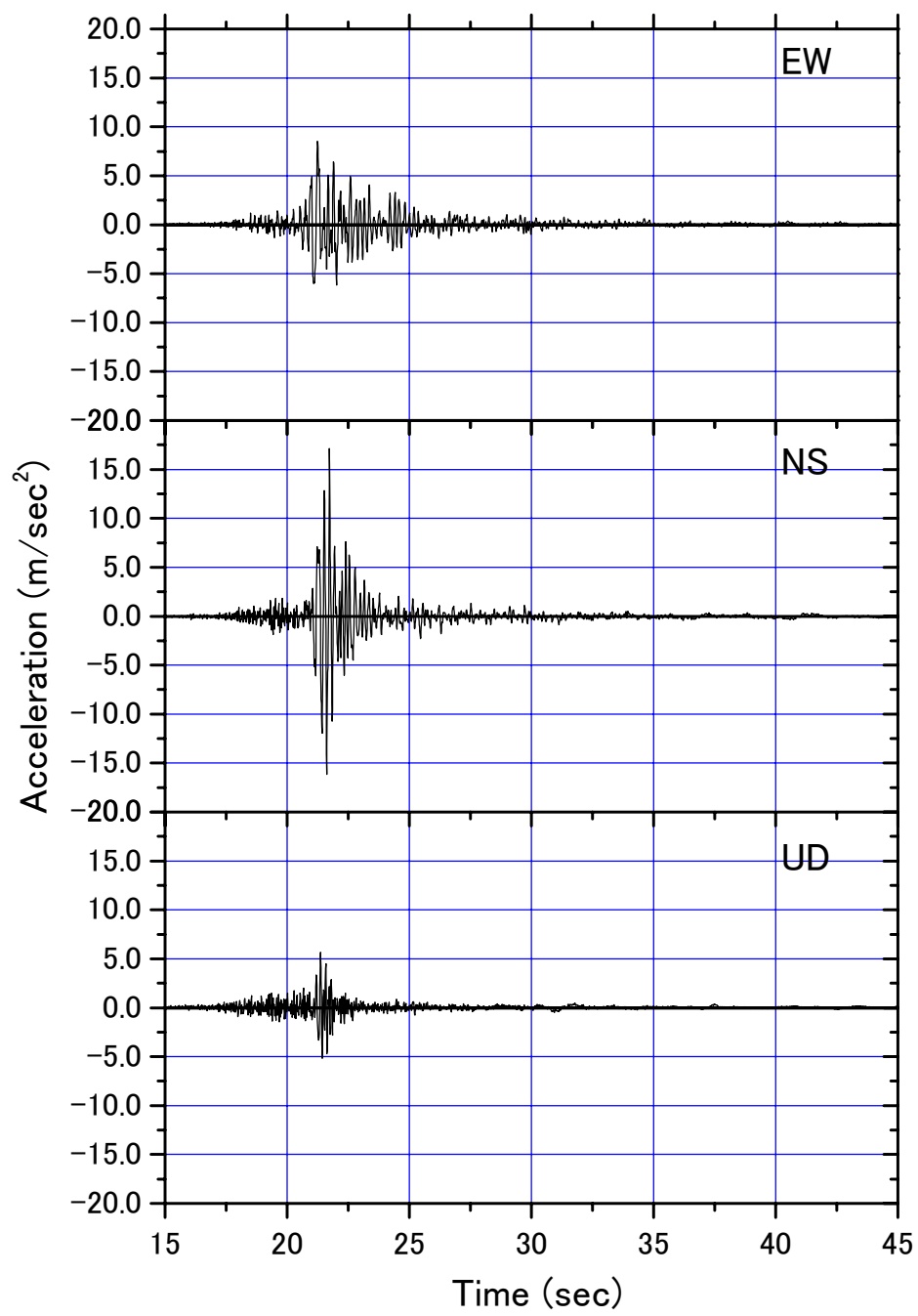


図 1 NIG021 十日町

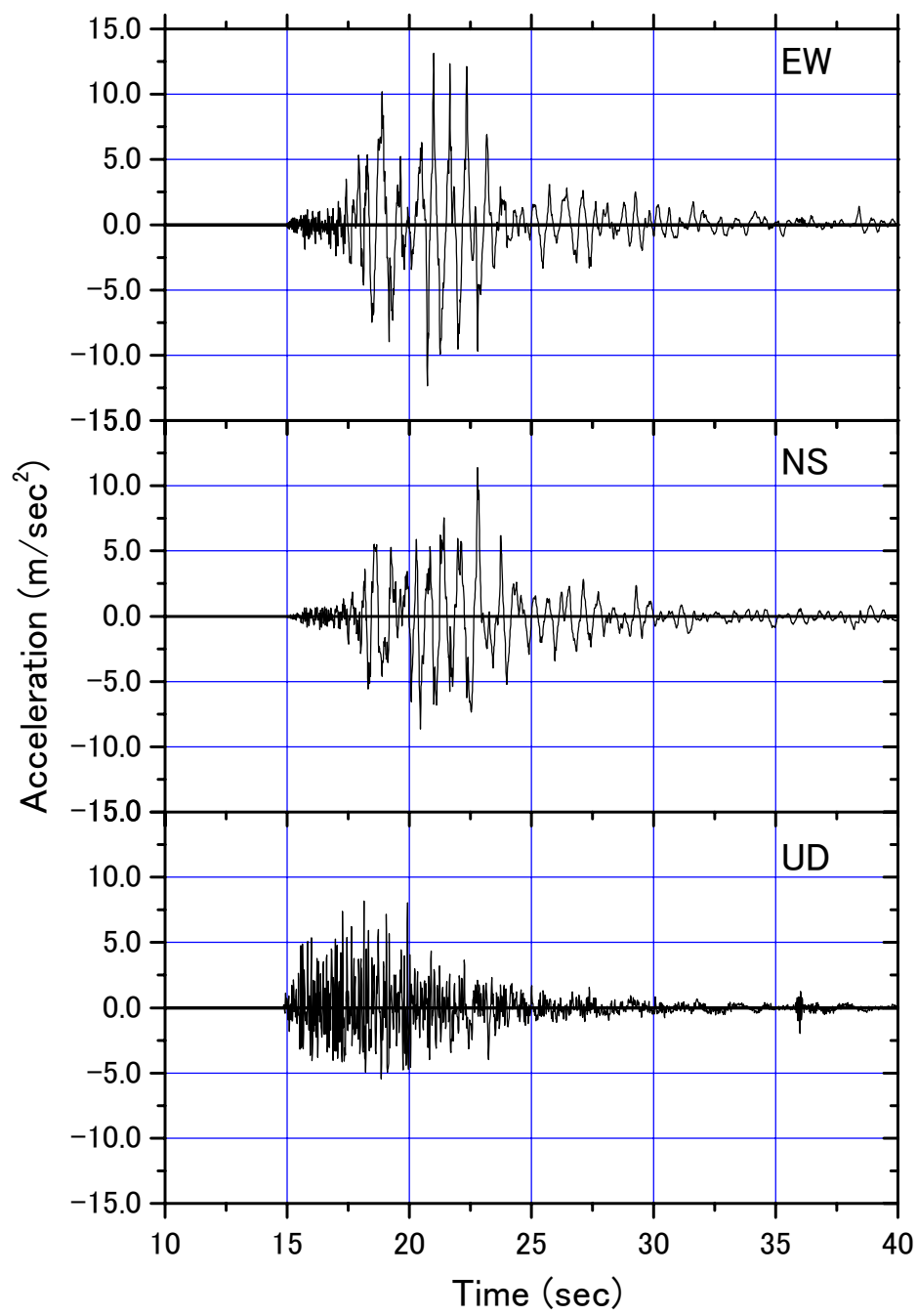


図 2 NIG019 小千谷

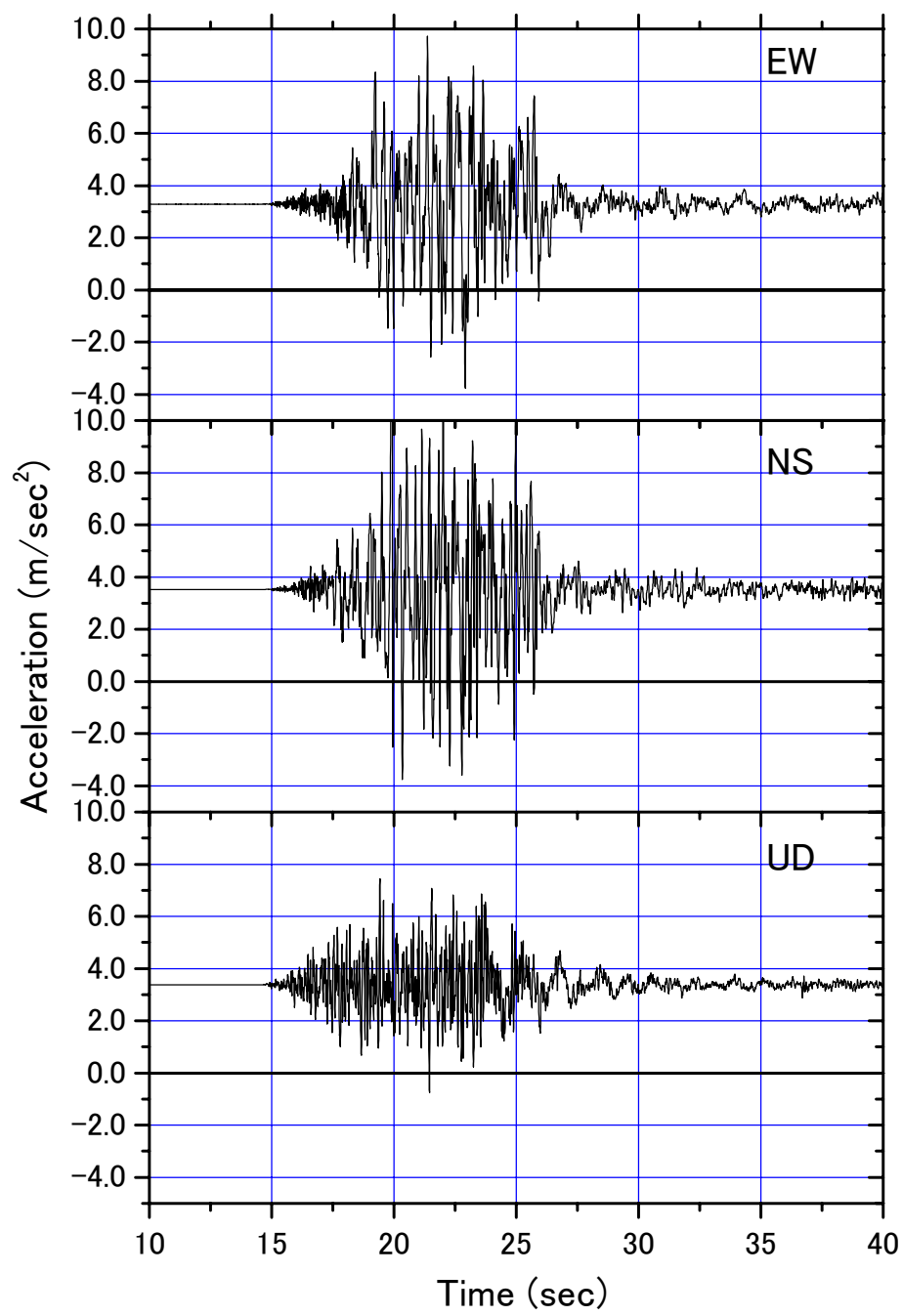


図 3 NIG028 長岡支所

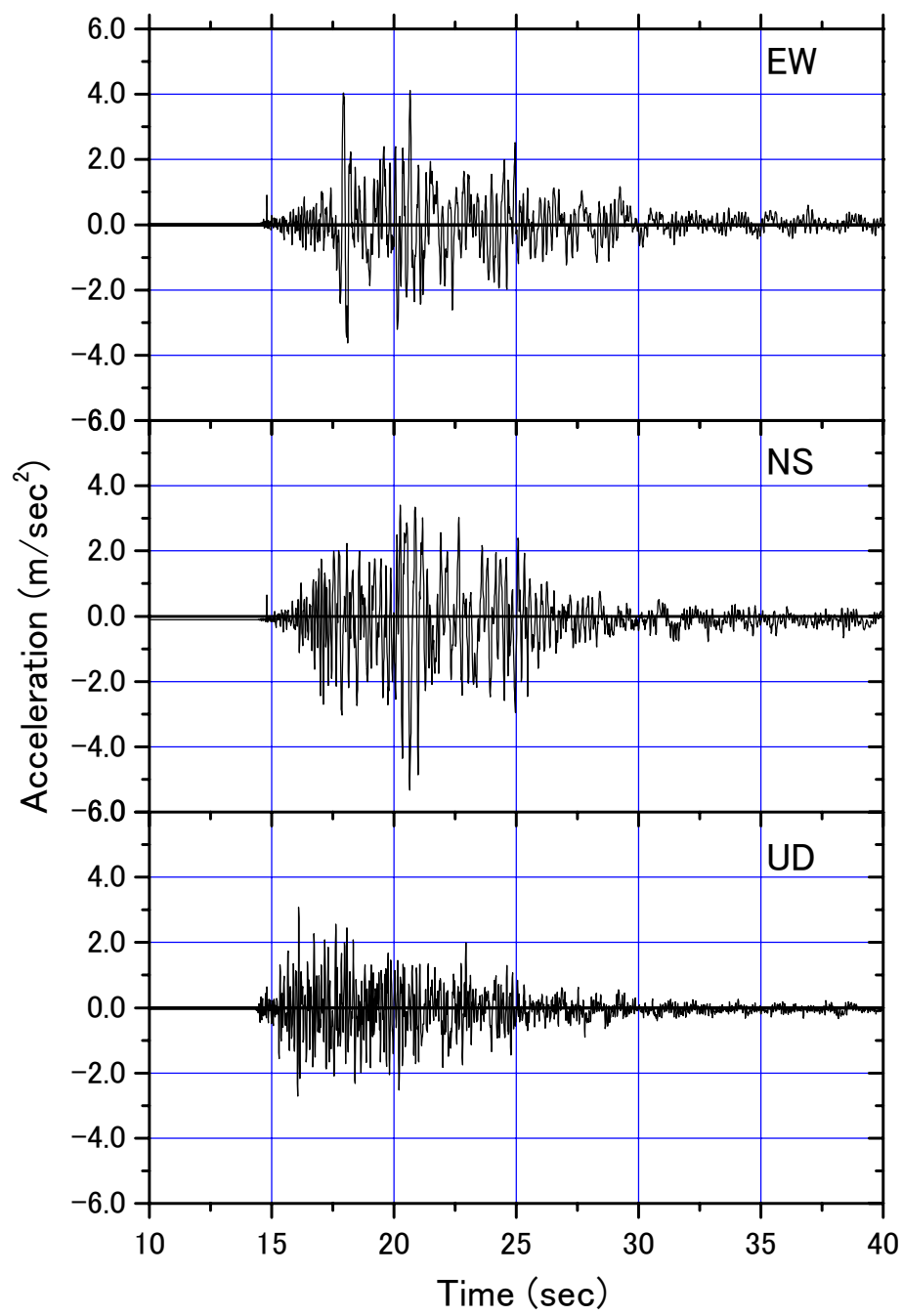


图 4 NIG020 小出

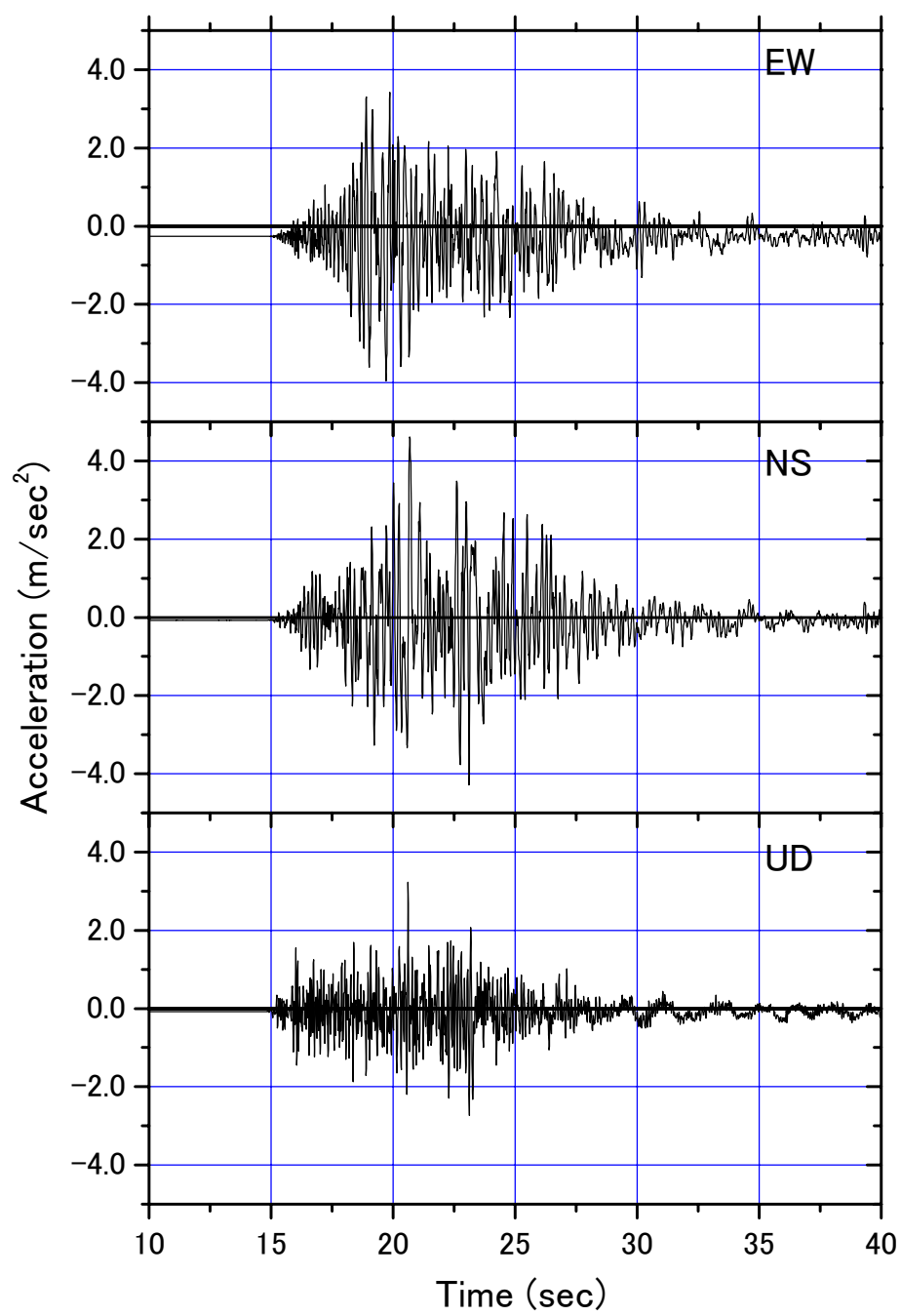


図 5 NIG017 長岡

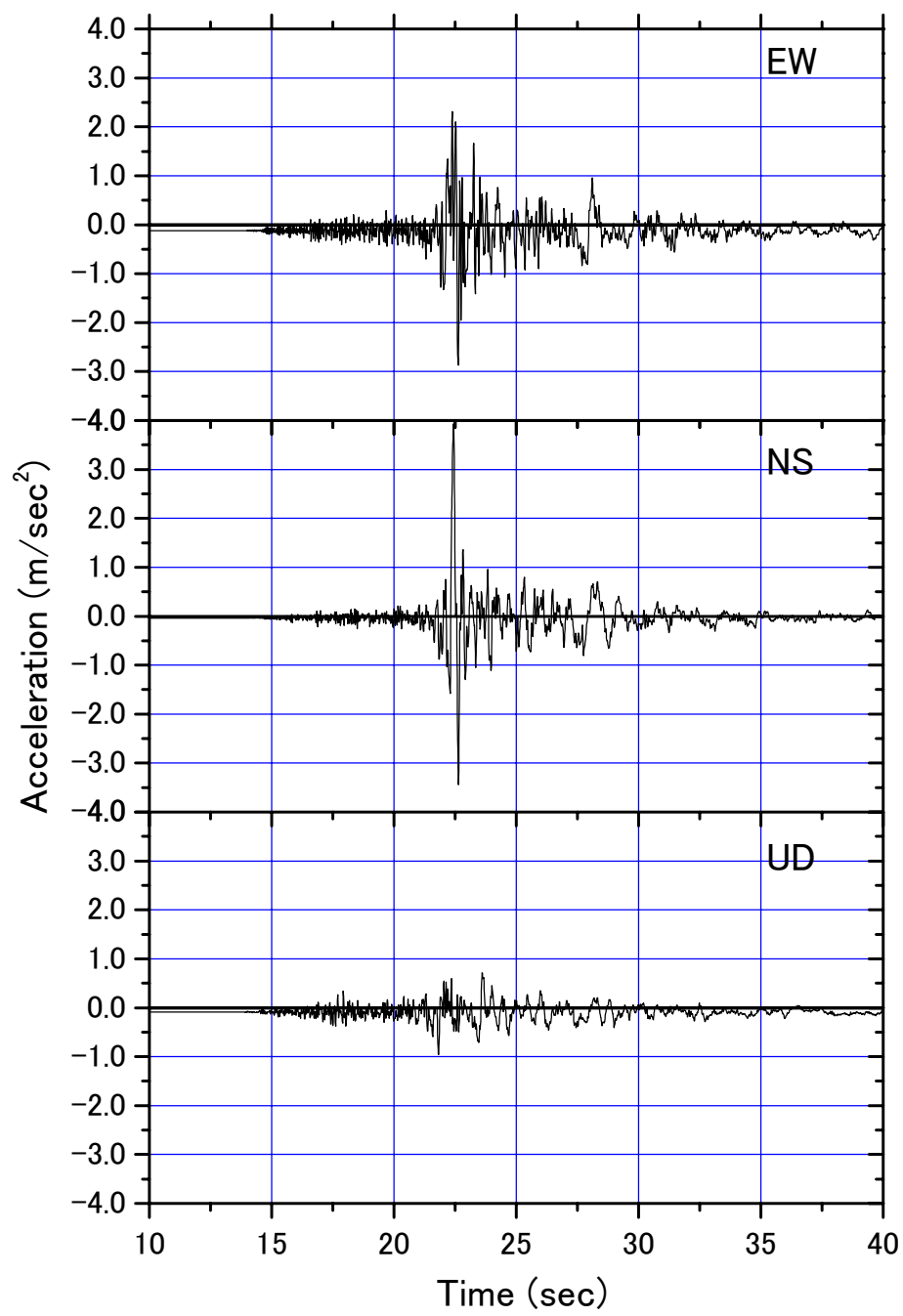


图 6 NIG023 津南

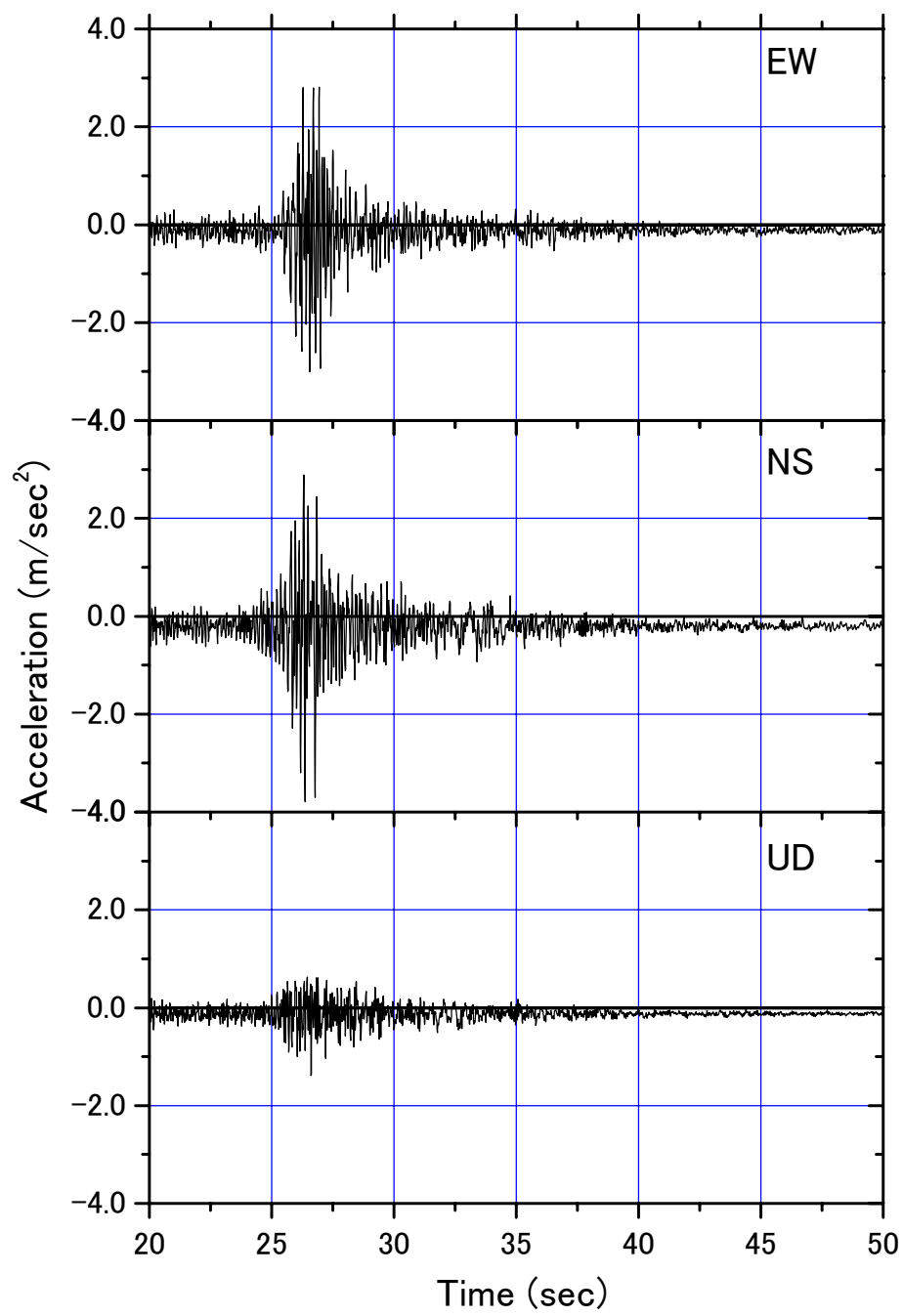


図 7 GNM003 沼田

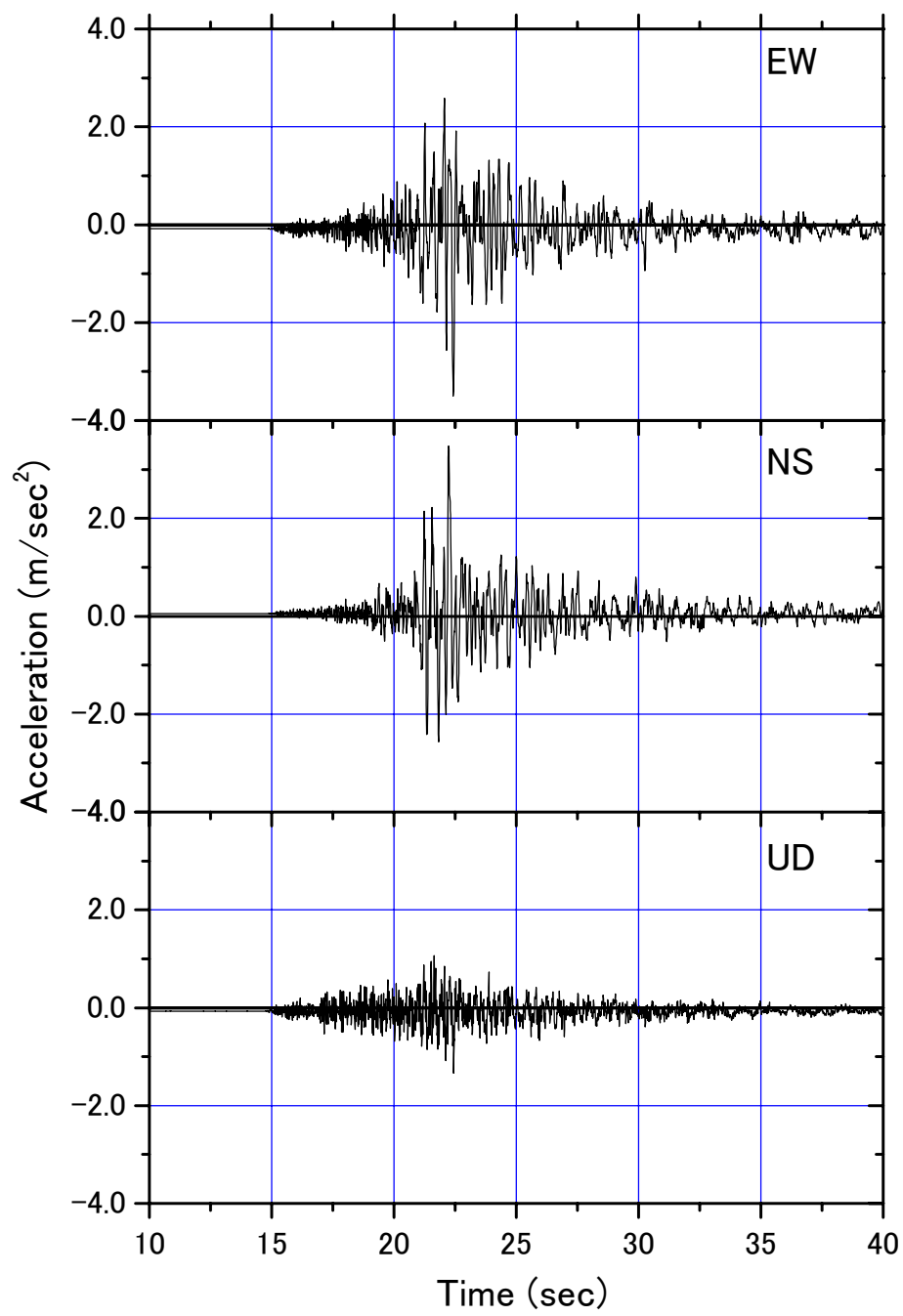


图 8 NIG022 塩沢

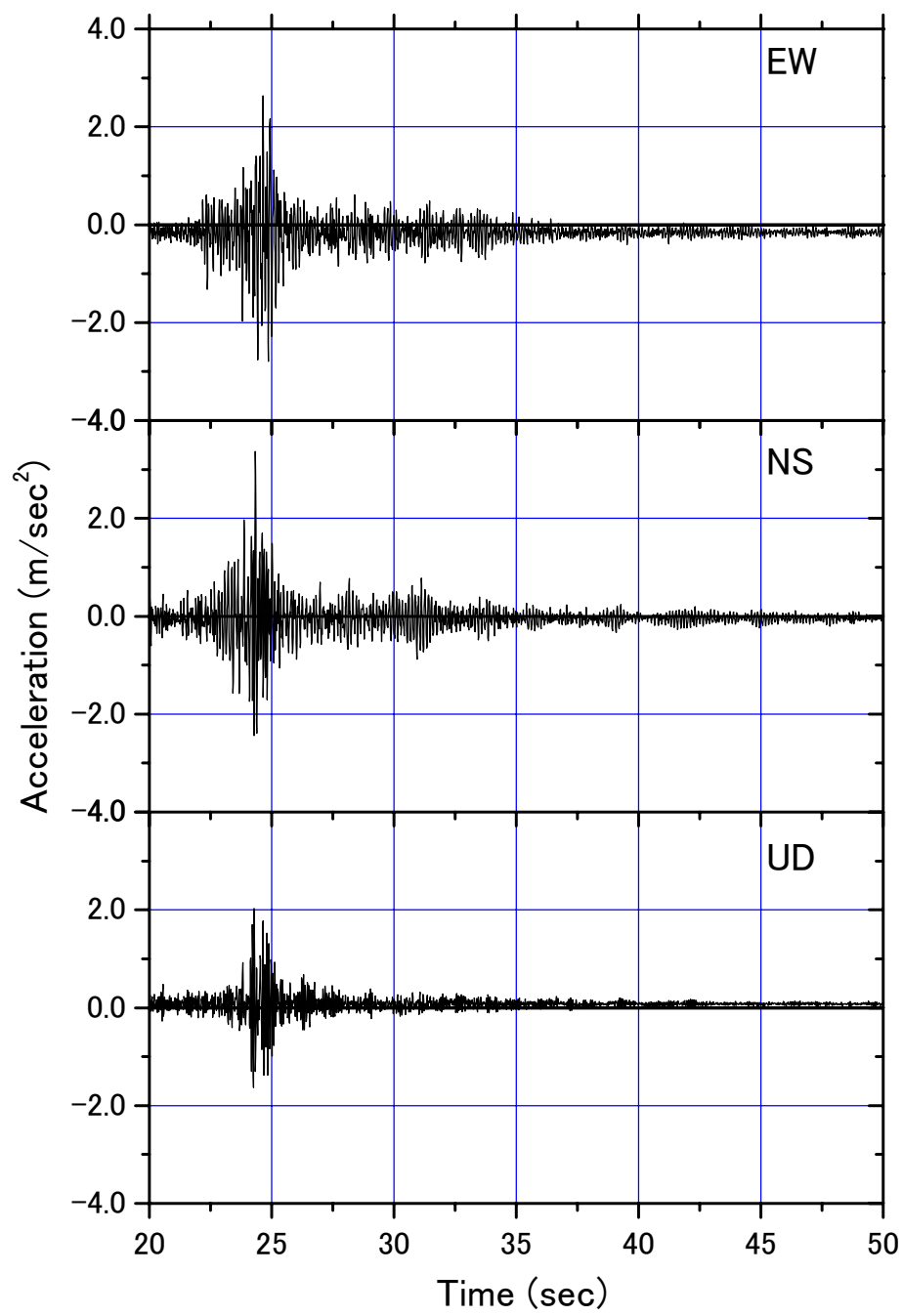


図 9 GNM002 水上

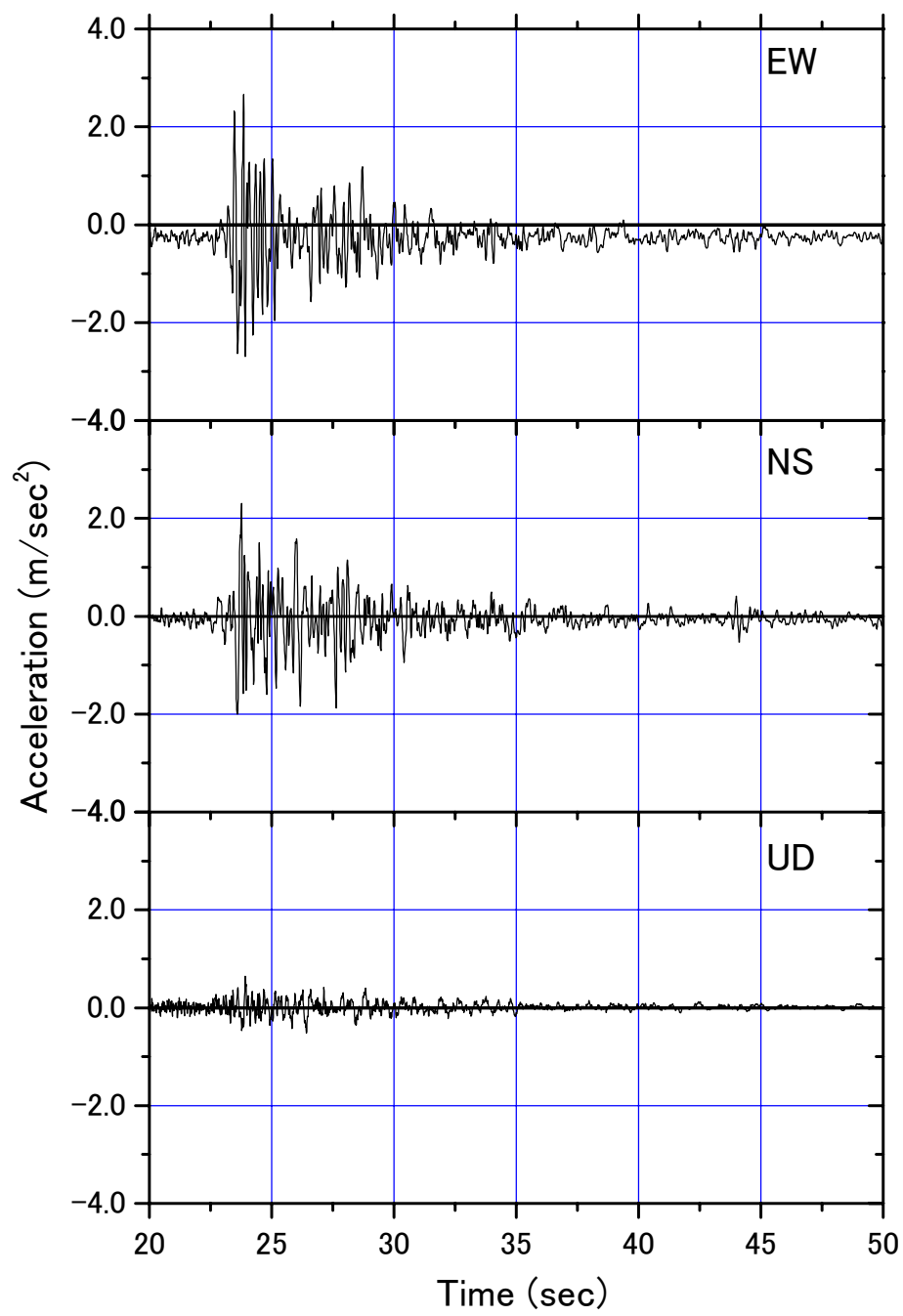


図 10 NIG012 鹿瀬

2 加速度応答スペクトルによる比較

図 13～図 22 に 10 波の東西および南北成分の加速度応答スペクトルを示す。図中には、第二種地盤での R_t 曲線を併せて示す。 R_t 曲線は、建築基準法で地震時に建物が弾性応答にとどまるために必要とされている建物のベースシア（ $C_0=10$ ）を表す。通常の設計では、建物の塑性化によるエネルギー吸収を考慮してこの値を低減する（ D_s ）。その値は、偏心等の不整形性が建物にない場合は、 $D_s=0.3\sim0.55$ の値をとる。

さらに、加速度応答スペクトルの比較的大きかった十日町 NS、小千谷 EW、長岡支所 NS、小出 NS および兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台と神戸ポートアイランドで観測された地震波（NS 成分）の加速度応答スペクトルを図 11 に、小千谷 EW と神戸海洋気象台と神戸ポートアイランドで観測された地震波の比較を図 12 に示す。図中には第一種～第三種地盤における R_t 曲線をあわせて示している。

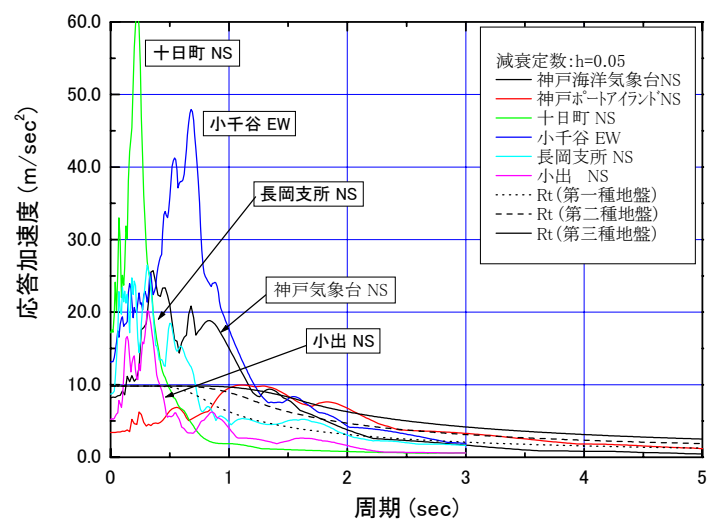


図 11 主要 4 波と兵庫県南部地震での記録の比較

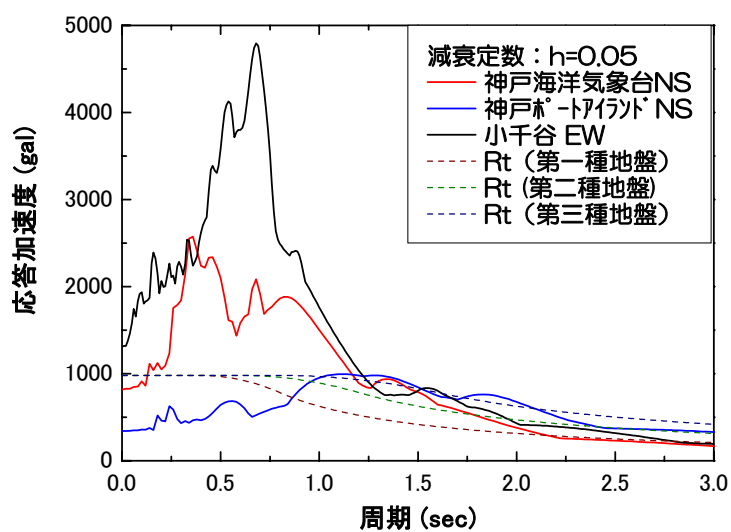


図 12 NIG019 小千谷と兵庫県南部地震の記録の比較

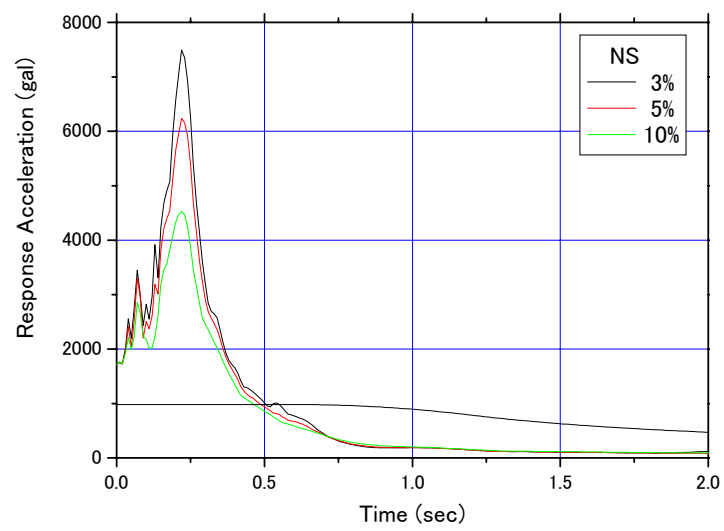
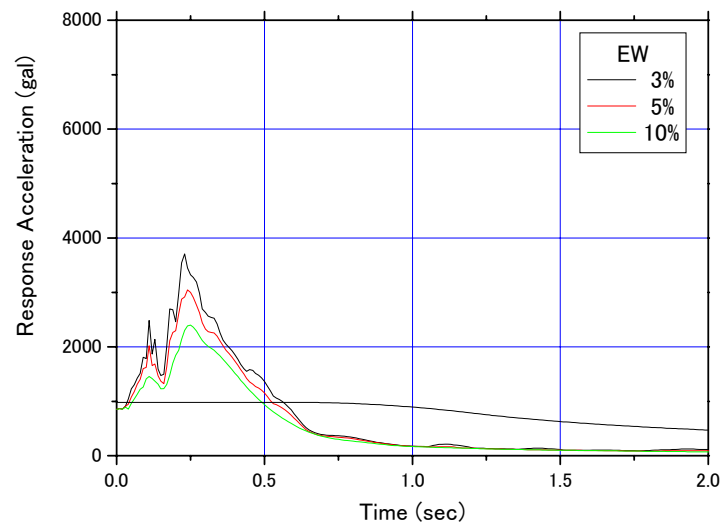


図 13 NIG021 十日町

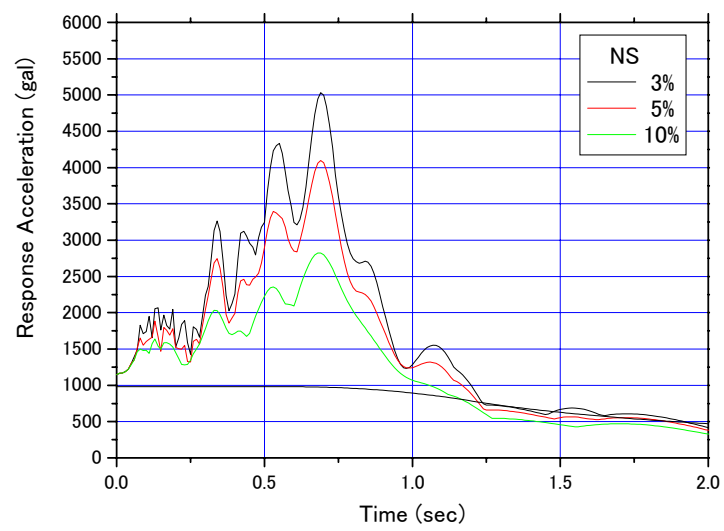
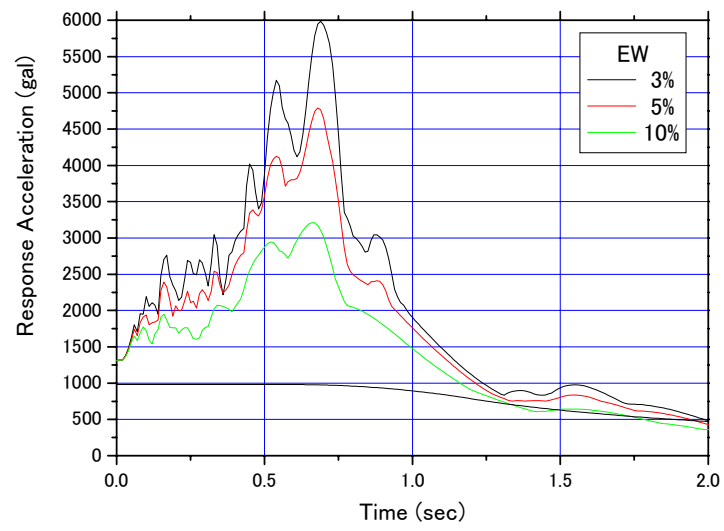


図 14 NIG019 小千谷

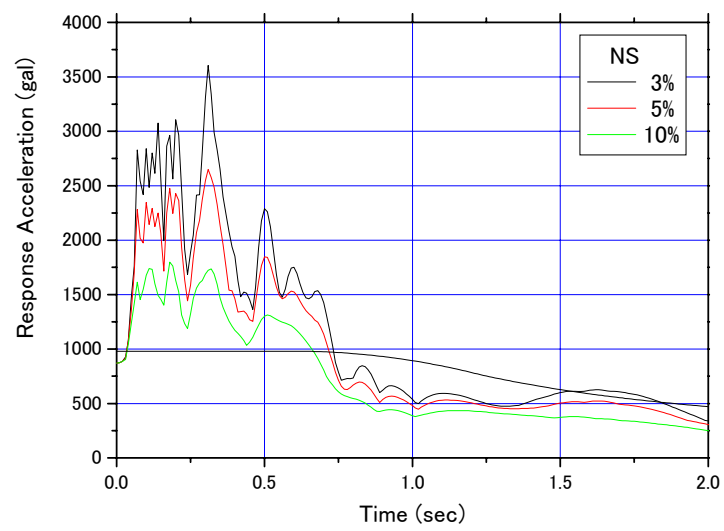
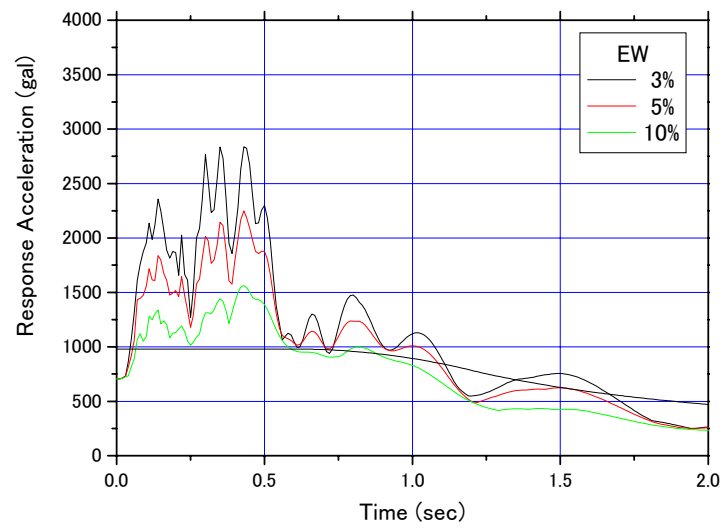


図 15 NIG028 長岡支所

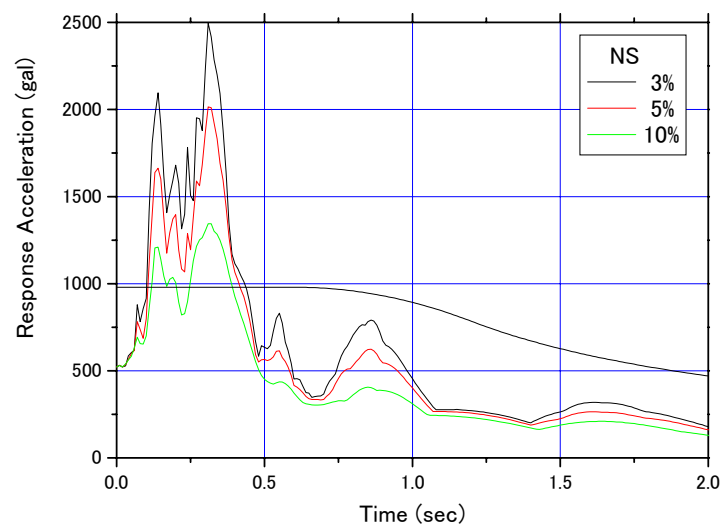
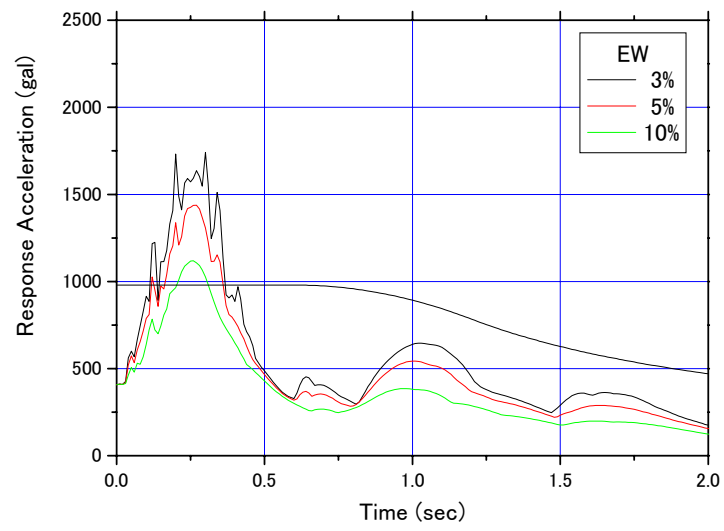


図 16 NIG020 小出

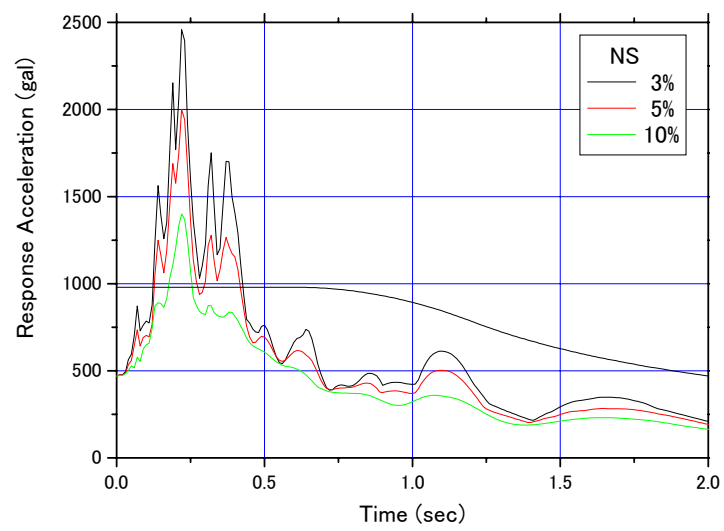
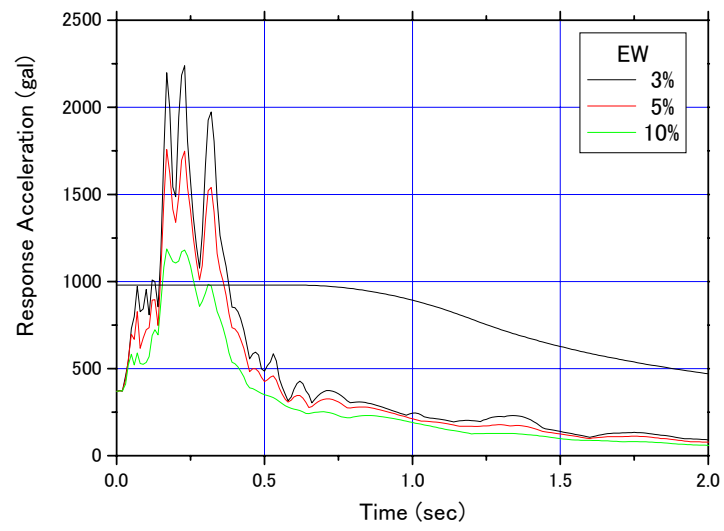


図 17 NIG017 長岡

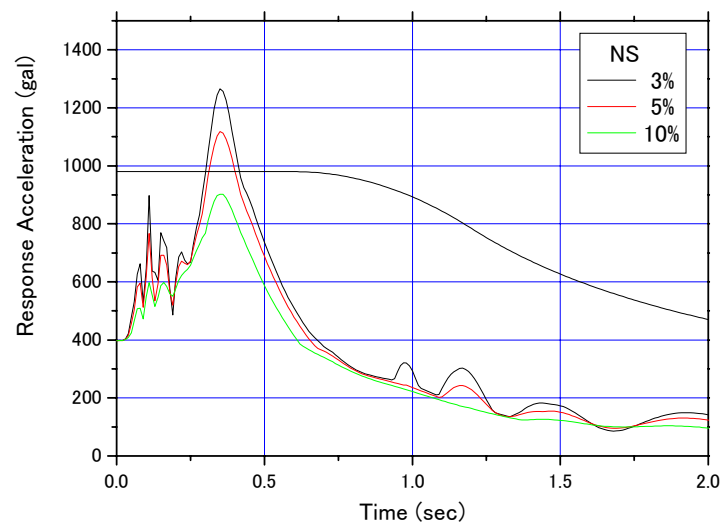
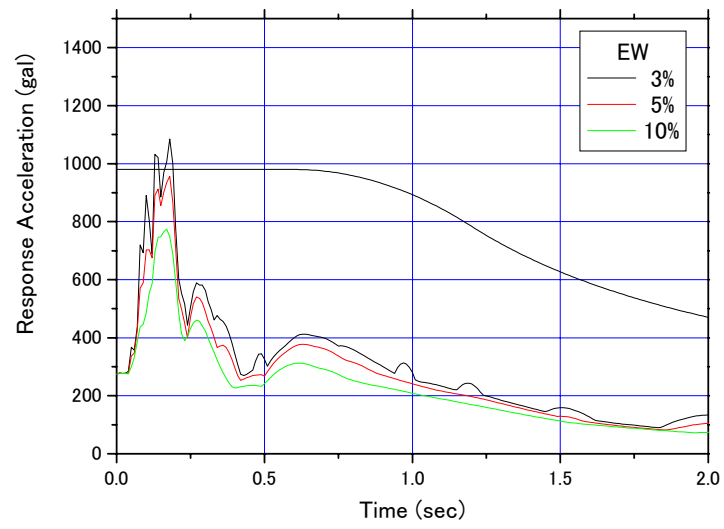


図 18 NIG023 津南

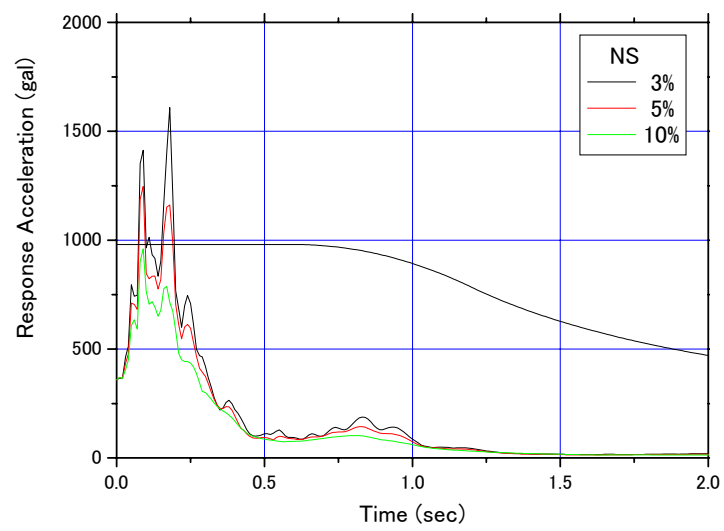
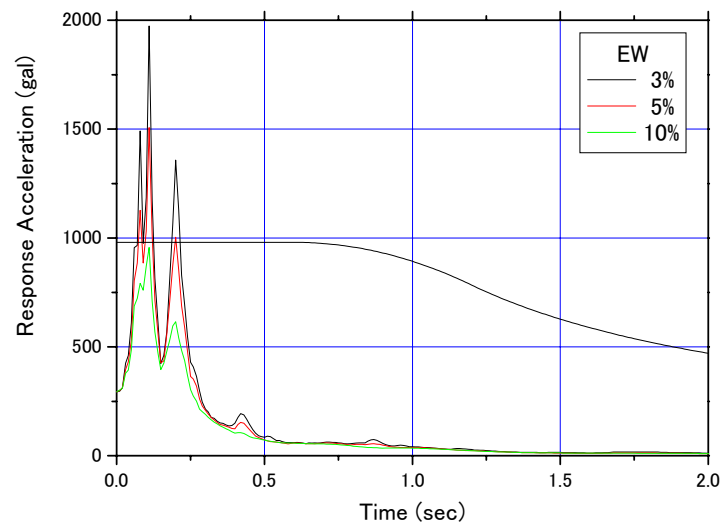


図 19 GNM003 沼田

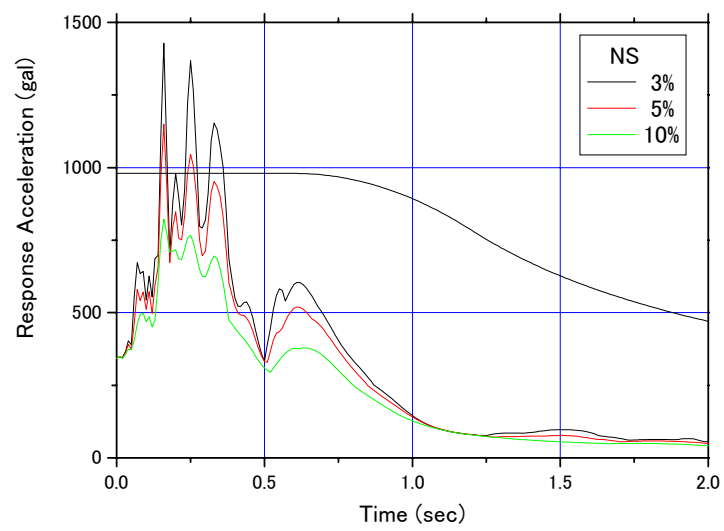
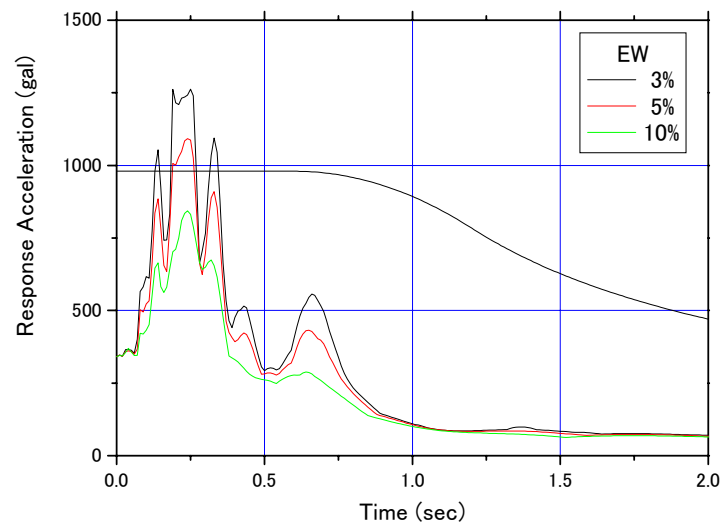


図 20 NIG022 塩沢

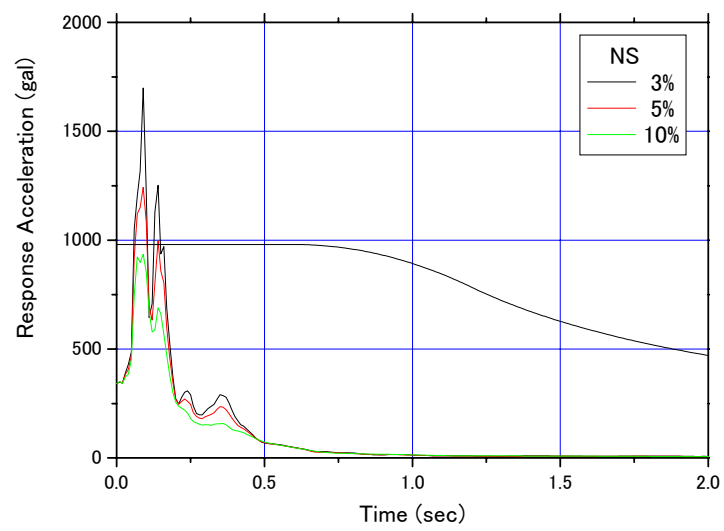
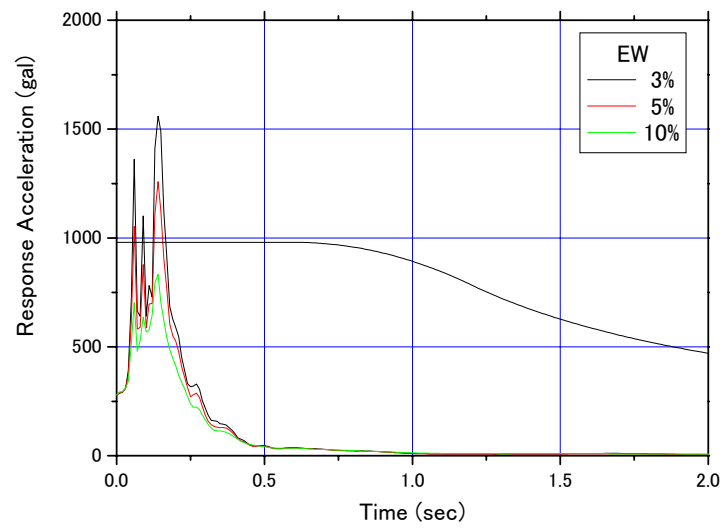


図 21 GNM002 水上

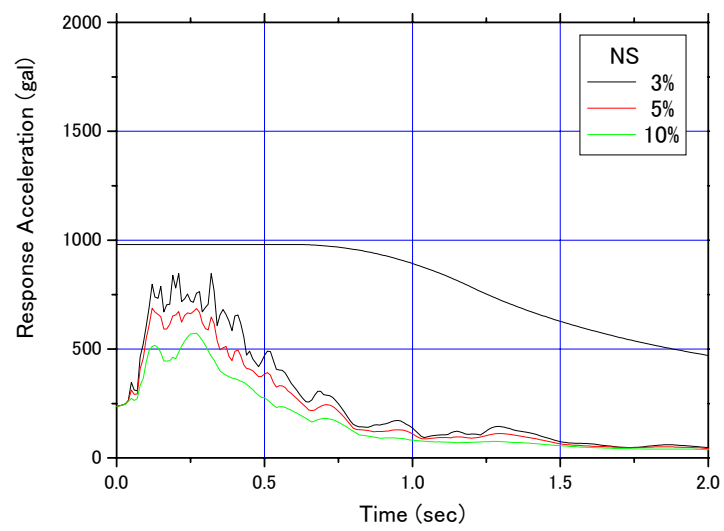
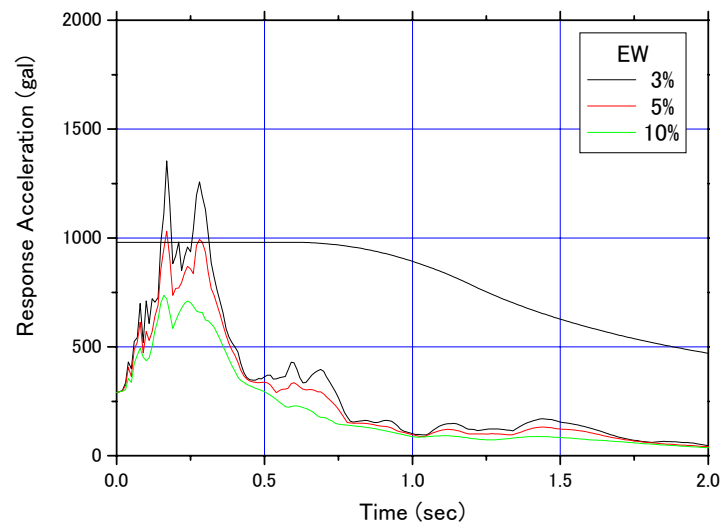


図 22 NIG012 鹿瀬

3 要求曲線による比較

本節では、限界耐力計算で規定される要求曲線を用いて、地震動と被害の関係を検討する。図 25～図 34 に 5%および 10%減衰での各方向各地震波の要求曲線を示す。図中には第 2 種地盤での要求曲線を併せて示す。図中の上横軸は、建物の階高を 3m、等価高さを建物高さの 1/2 と仮定したときの建物全体の変形角を示している。実際の変形角は、横軸の値/100N (N:建物階数) である。

図 23 および図 24 に減衰 5, 10%での十日町 NS、小千谷 EW、長岡支所 NS、および小出 NS の要求曲線を示す。図中には弾性周期 0.3sec, $D_s=0.5$ での履歴曲線を併せて示している。更に、ヘアークラック等による初期の剛性低下を考慮して、剛性低下率 50%での履歴を示している。

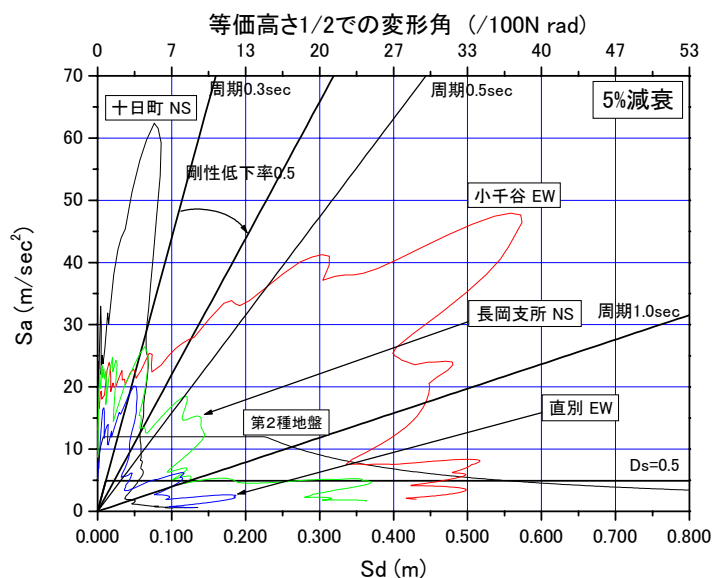


図 23 5%減衰での比較

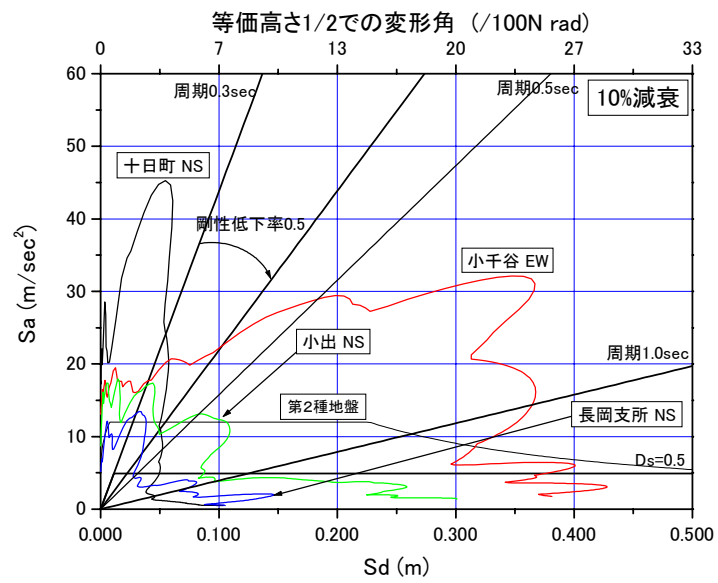


図 24 10%減衰での比較

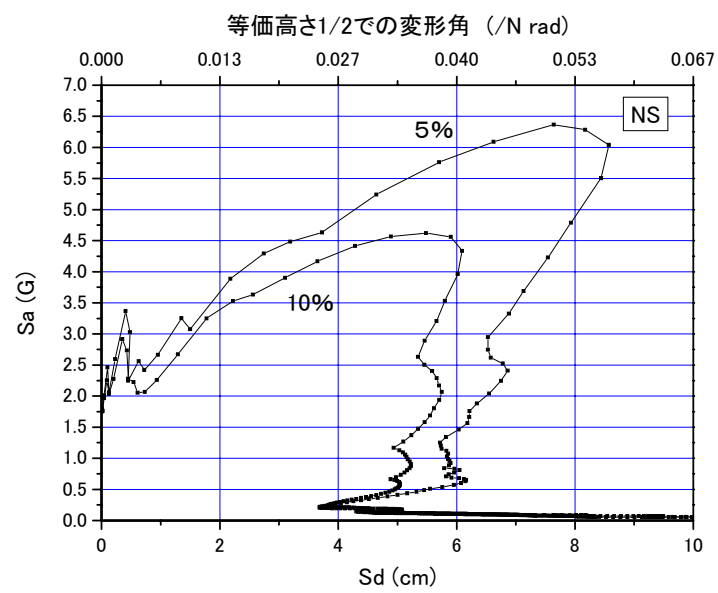
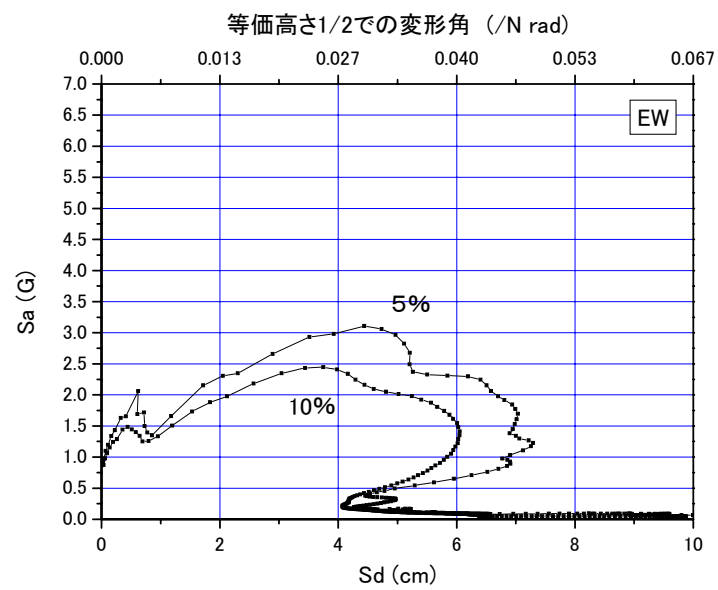


図 25 NIG021 十日町

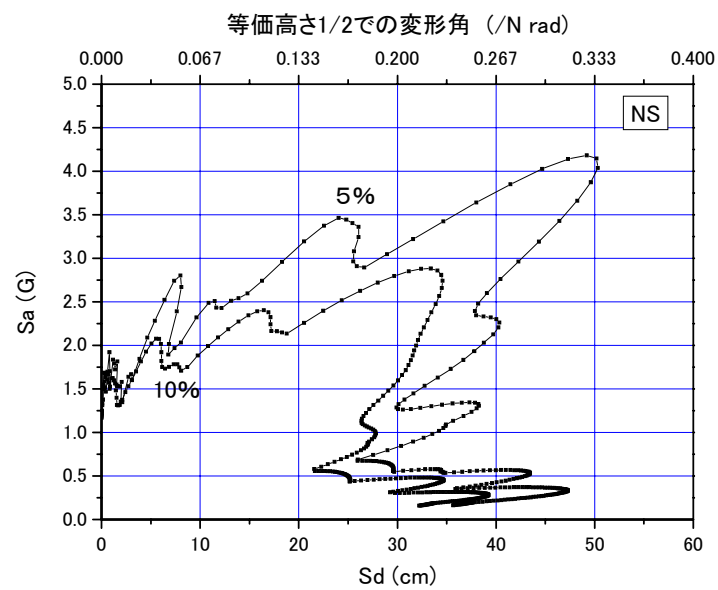
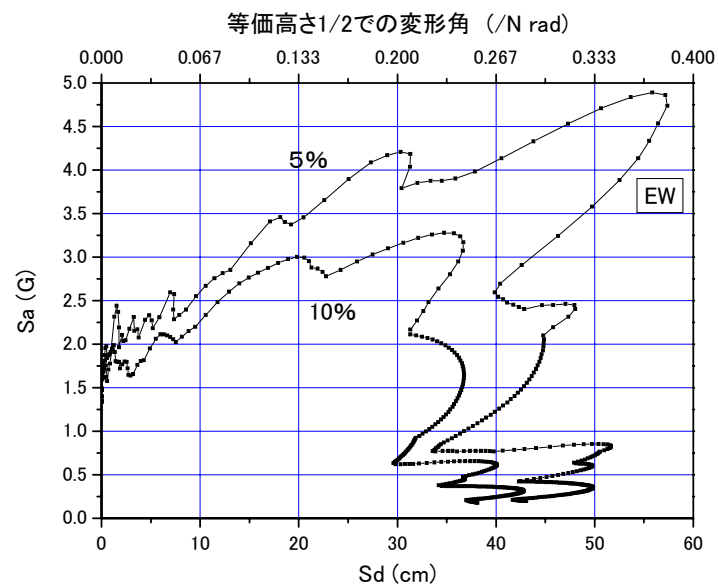


図 26 NIG019 小千谷

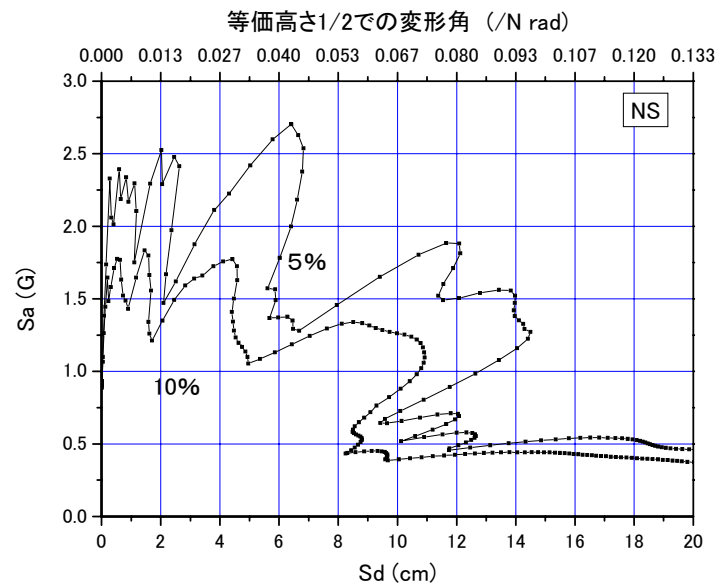
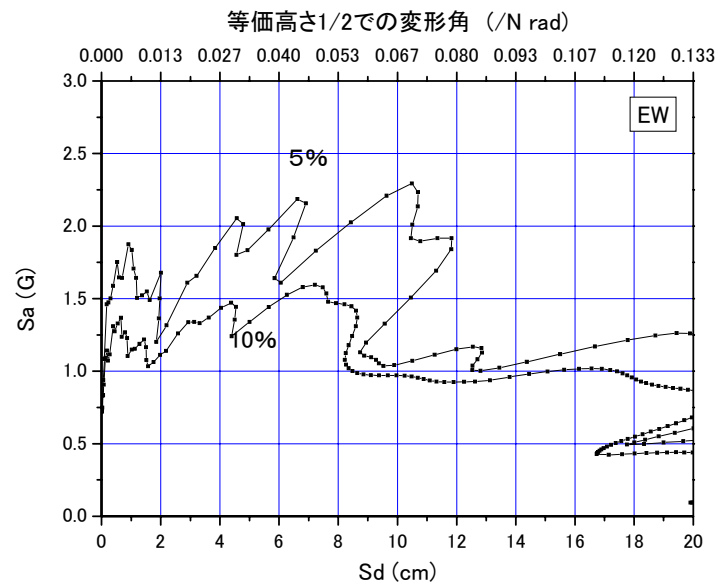


図 27 NIG028 長岡支所

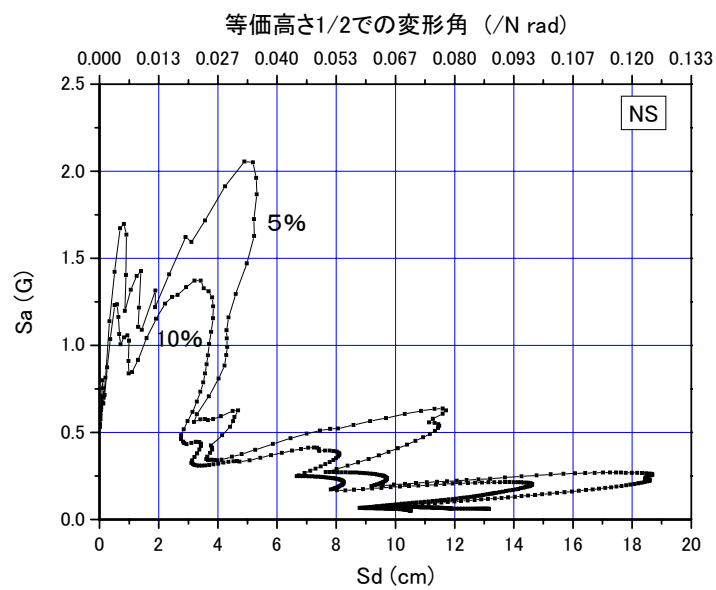
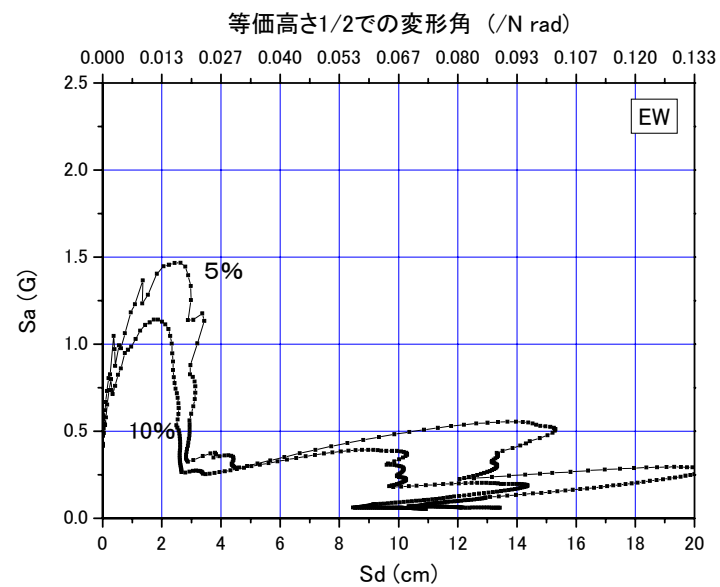


図 28 NIG020 小出

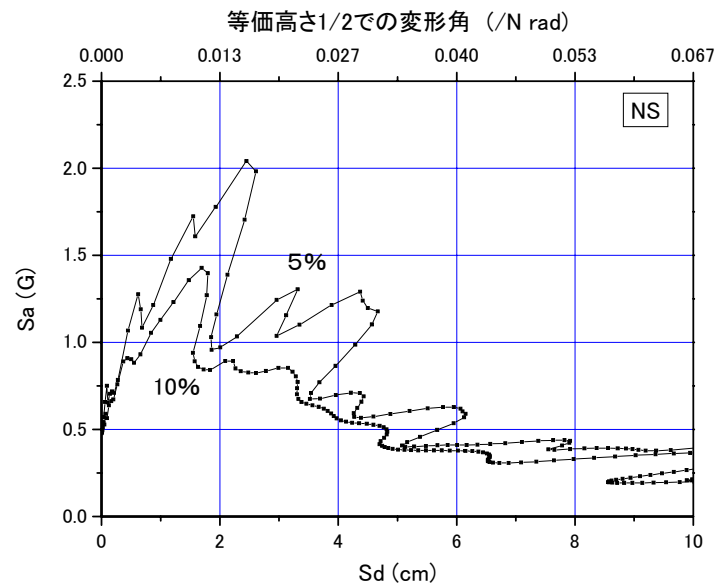
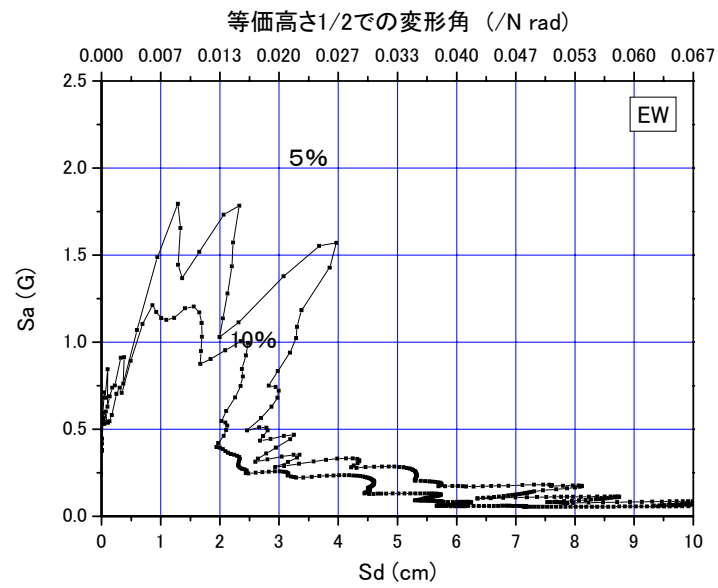


図 29 NIG017 長岡

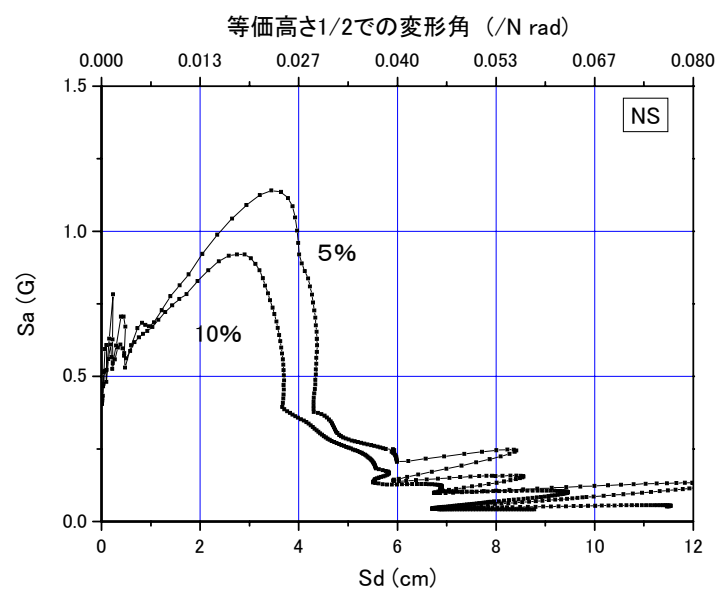
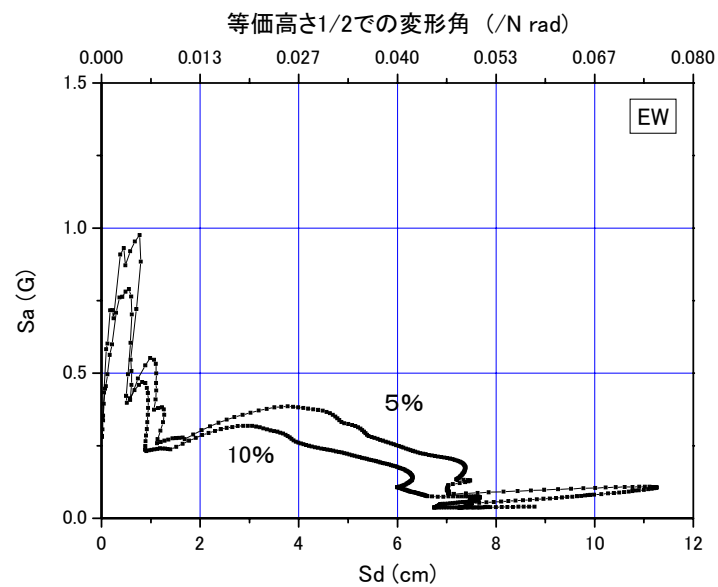


図 30 NIG023 津南

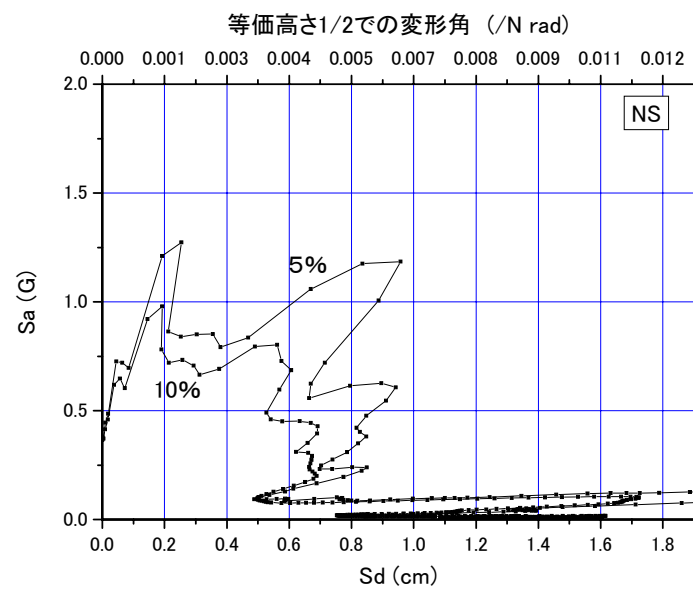
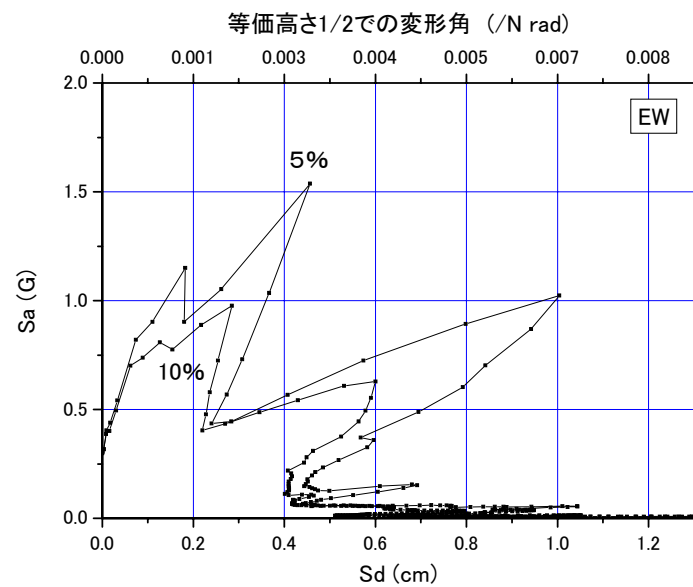


図 31 GNM003 沼田

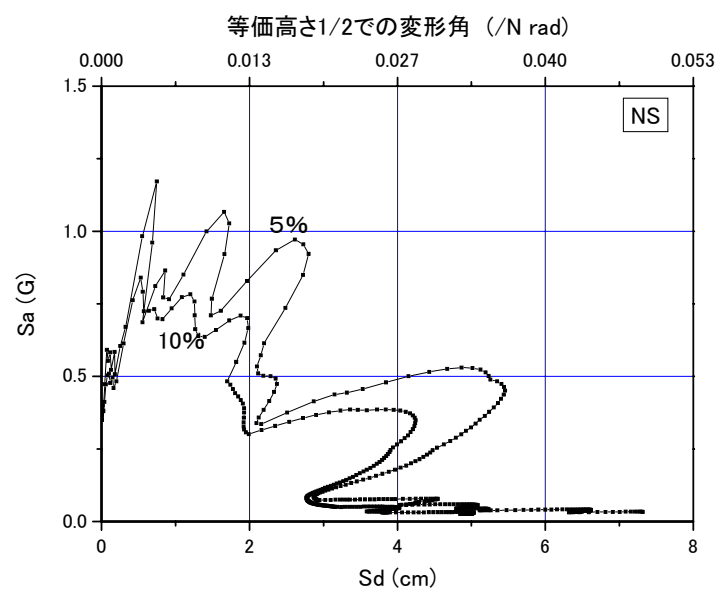
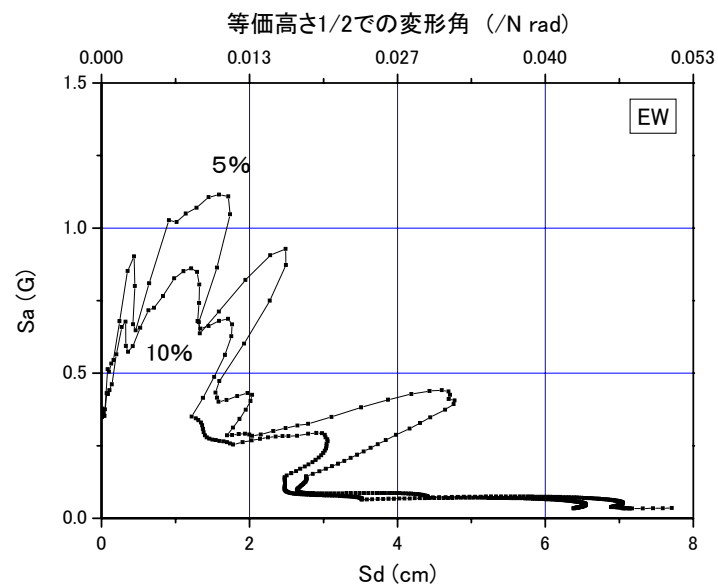


図 32 NIG022 塩沢

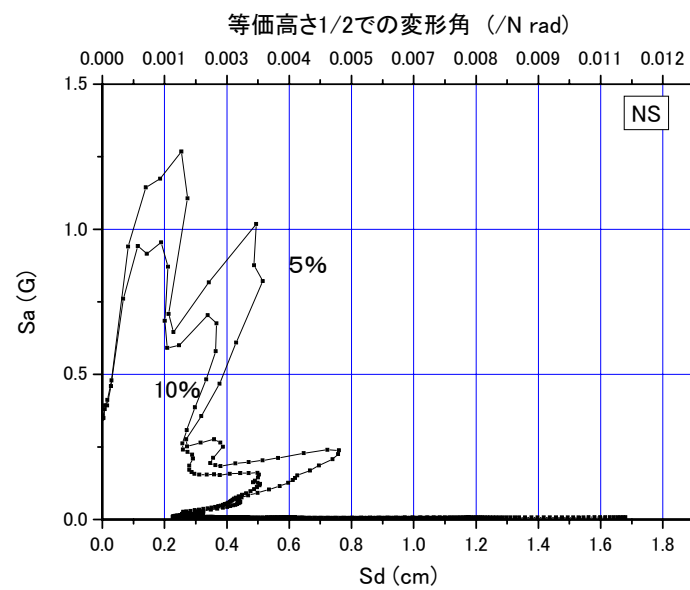
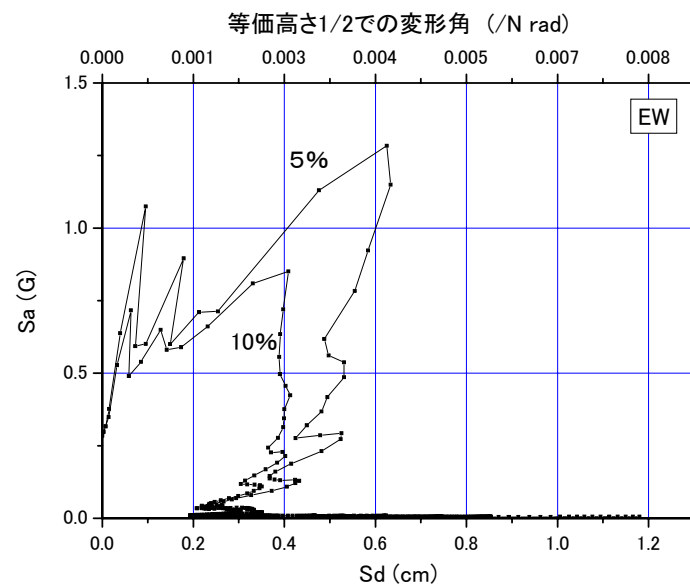


図 33 GNM002 水上

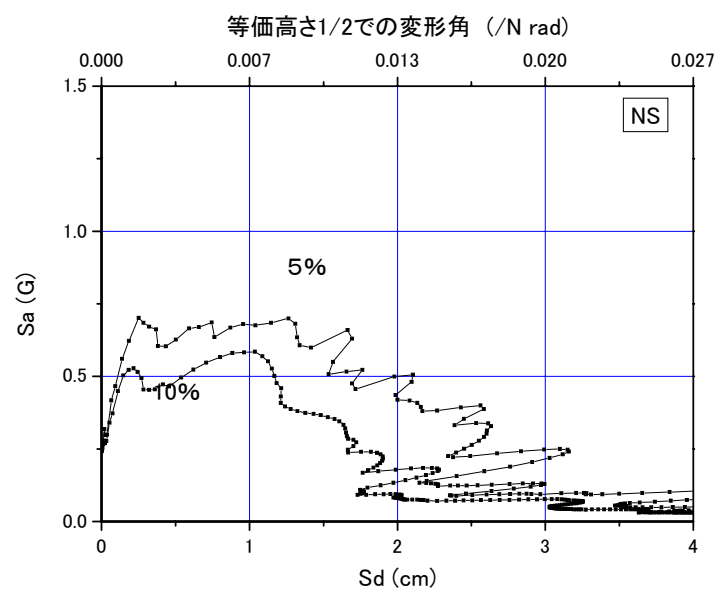
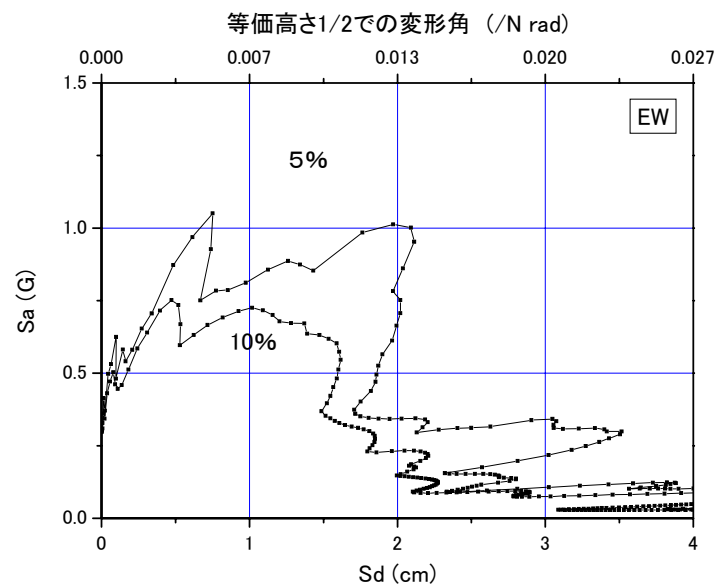


図 34 NIG012 鹿瀬

4 エネルギースペクトルによる検討

図 35 に十日町 NS、小千谷 EW、長岡支所 NS、および小出 NS の入力エネルギー速度換算値 ($V_E = \int \ddot{x}_0 \cdot \dot{x} dt$) を示す。継続時間は、100 秒分を用いた。また、弾性応答によるエネルギー吸収量は

$$\frac{1}{2}(M \cdot C_B \cdot G) \cdot \delta_y = \frac{1}{2}(M \cdot C_B \cdot G) \cdot \frac{(M \cdot C_B \cdot G)}{K} = \frac{1}{2}M \cdot \frac{M}{K} \cdot (C_B \cdot G)^2$$

で計算される。ここで、M:総質量、 C_B :ベースシア係数、G:重力加速度、 δ_y :降伏変位、K:建物剛性、である。

このエネルギーの速度換算値は、

$$\frac{1}{2}M \cdot V^2 = \frac{1}{2}M \cdot \frac{M}{K} \cdot (C_B \cdot G)^2$$

より、

$$V = C_B \cdot G \cdot \sqrt{\frac{M}{K}} = \frac{C_B \cdot G}{2\pi} \cdot T$$

となる。ここで、T は建物周期である。

図中に $C_B=1.0, 0.5, 0.3$ での弾性応答の吸収するエネルギーを併せて示す。 V_E が各線を上回る場合は、その差分は塑性化によりエネルギー消費されと考えられる。逆に下回る場合は、建物応答は弾性に収まると考えられる。

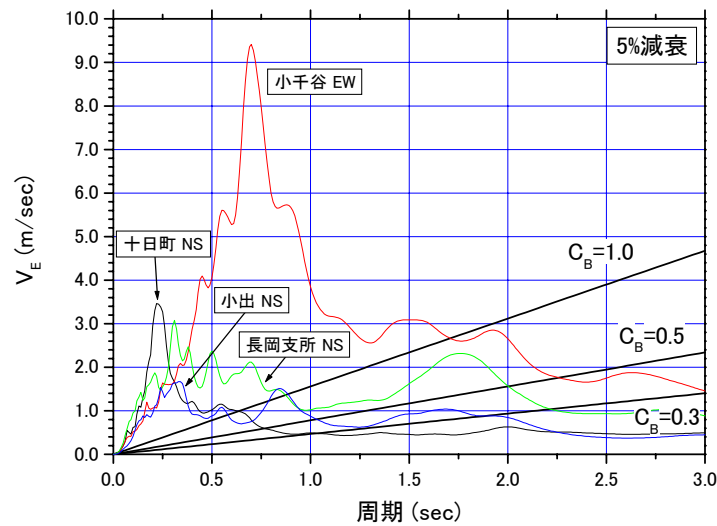


図 35 主要 4 波の入力エネルギー速度換算値

5 弾塑性地震応答解析による検討

NIG019 小千谷 EW を対象に、 $C_B=1.0$, 0.5 , 0.3 の 3 種類の建物について弾塑性地震応答解析を行った。解析では以下の仮定を用いた。弾性周期 0.3sec での解析パラメータを表 5-1 に示す。

- ・ 復元力特性は武田モデル
- ・ ひび割れ耐力(F_c)は降伏耐力(F_y)の $1/3$
- ・ 降伏時剛性低下率は 0.5
- ・ 降伏後剛性は初期剛性の $1/1000$
- ・ 減衰は瞬間剛性比例型減衰で 5%
- ・ 建物重量は 980tonf 。

各ケースでのせん断力－水平変形関係を図 5-1 に示す。最大塑性率は $C_B=1.0$ で 3.49 , $C_B=0.5$ で 9.66 , $C_B=0.3$ で 17.45 であった。

同様に、弾性周期 0.5sec に対して、表 5-2 に示すように同じく $C_B=1.0$, 0.5 , 0.3 の 3 種類の建物について弾塑性地震応答解析を行った。各ケースでのせん断力－水平変形関係を図 5-2 に示す。最大塑性率は $C_B=1.0$ で 2.05 , $C_B=0.5$ で 5.19 , $C_B=0.3$ で 8.40 であった。弾性周期 0.3sec に比べて被害は非常に小さくなっている。

以上のように、弾塑性解析を実施した結果、小千谷 EW 波では、弾性周期 0.3sec 程度および 0.5sec 程度の建物共に D_s が 0.5 以下では塑性率 4 を超える大きな被害が生じた。

表 5-1 解析パラメータ ($T=0.3$)

		解析ケース		
		Case 1 ($C_B=1.0$)	Case 2 ($C_B=0.5$)	Case 3 ($C_B=0.3$)
耐力 (kN)	F_c	3201.33	1600.67	960.40
	F_y	9604.00	4802.00	2881.20
変形 (mm)	D_c	7.45	3.72	2.23
	D_y	44.68	22.34	13.40

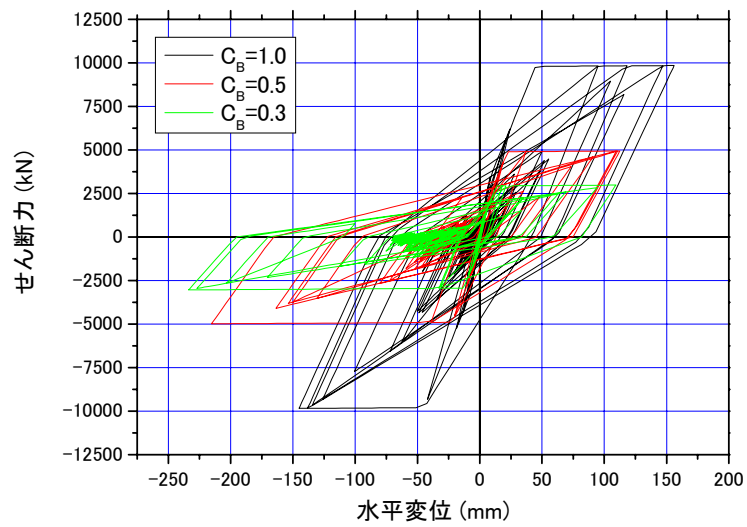


図 5-1 セン断力－水平変形関係 (T=0.3)

表 5-2 解析パラメータ (T=0.5)

		解析ケース		
		Case 1 ($C_B=1.0$)	Case 2 ($C_B=0.5$)	Case 3 ($C_B=0.3$)
耐力 (kN)	Fc	3201.33	1600.67	960.40
	Fy	9604.00	4802.00	2881.20
変形 (mm)	Dc	20.69	10.34	6.21
	Dy	124.12	62.06	37.24

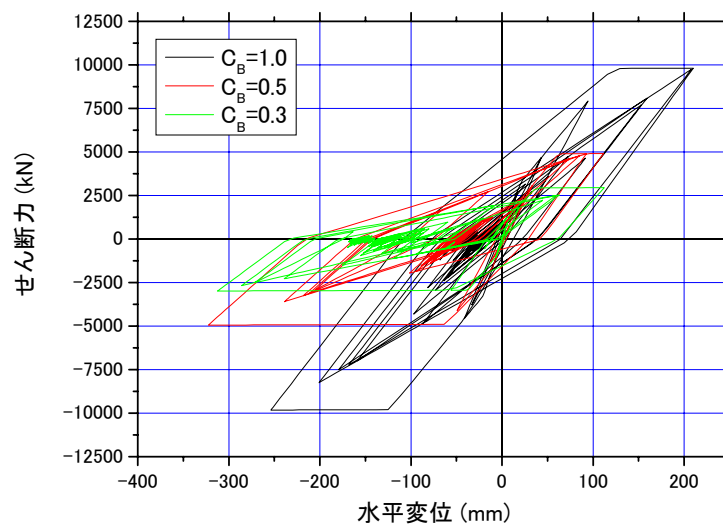


図 5-2 せん断力－水平変形関係 ($T=0.5$)

6 まとめ